

02/25/2004 17:05 0332610681

FUKUMORI P.O.

ページ 03/13

明 細 書

半導体装置、半導体装置の製造方法及び半導体装置応用システム

発明の詳細な説明

背景技術

本発明は半導体表面の保護や不活性化を行うことによる半導体装置の高性能化に関するものである。

従来技術

高周波電子デバイスとして電界効果トランジスタ (FET) やヘテロバイポーラトランジスタ (HBT) の開発が行われ、実用化されている。FETのゲートドレイン間、ソースゲート間に露出した半導体表面やHBTのベース領域の端部においては半導体表面でのダングリングボンドや酸化による表面準位の生成が起こり、トランジスタの性能劣化を誘起する。FETではゲートドレイン間でのリーク電流の増加が見られたり、HBTでは表面再結合によるベース内での少数キャリアの低減が起こる。GaAsやInPを基盤材料としたIII-V族化合物半導体で構成される電子デバイスについては特に酸化等による表面での状態密度の増加が著しく、それがデバイスの性能を劣化させるため半導体表面の不活性化プロセス技術および表面保護膜作製技術が開発され、電子デバイスの作製が進められている。これまで半導体表面保護や不活性膜として酸化珪素膜や窒化珪素膜が用いられているが、今後更に高周波動作を目指すためには浮遊容量の低減による素子固有の高周波特性の向上や集積回路においては配線における信号遅延の改善が不可欠である。このためにはこれまで用いられている保護膜や配線層間絶縁膜の低誘電率化が必要となる。酸化珪素膜や窒化珪素膜の誘電率は各々 $k=4$ および7程度と知られているが今後更に低誘電率材料の導入が望まれる状況にある。また、今後高周波パワーデバイスとして注目されているGaNを基盤材料としたデバイスにも応用できる表面保護膜が望まれる。

III-V族化合物半導体の表面保護技術や表面不活性化技術を確立し、高周波電子デバイスの性能向上が望まれている。本発明は上記の状況に鑑みてなされたもので、表面保護および表面不活性化を実現できまた、高周波特性の向上が可能となる表面保護膜をホウ素 (B)、炭素 (C)、窒素 (N) を主成分とする膜 (BCN膜) にイオウ (S) を添加して作製する成膜方法およびその技術を用いて作製した高性能半導体装置並びに半導体装置を含む通信システムの電子装置を提供することを目的とする。

発明の開示

前記課題を解決するための本発明の半導体装置はホウ素、炭素、窒素を主成分とし、イオウが添加された被膜が表面保護膜として表面の少なくとも一部に被着されたことを特徴

2

とする。イオウの添加により膜と半導体界面での固定電荷が低減し、イオウ原子により半導体表面の欠陥準位の密度を低下させることができる。n型Si基板上にイオウを添加したBCN膜と無添加BCN膜を堆積させ金属/絶縁体/半導体構造を作製し、容量-電圧特性を測定した結果を図1に示す。イオウ添加BCN膜においては無添加BCN膜に比べ、フラットバンドシフトが明らかに低下していることが見出され、イオウ添加によりBCN膜の特性および界面特性が向上していることが分かる。

また、上記目的を達成するための本発明の半導体装置は前記被膜の炭素組成比（原子比）が0.1以上であることを特徴とする。これにより誘電率の低減を実現し、また、耐水性が向上し、膜にクラックの発生や膜の剥がれが防止される。

また、上記目的を達成するための本発明の半導体装置は前記被膜に酸素を含むことを特徴とする。請求項1、2に記載の半導体装置。

また、上記目的を達成するための本発明の半導体装置は前記被膜に異種膜を付加した多層構造を有することを特徴とする。多層構造を取ることで保護膜としての安定性を向上させることができる。

また、上記目的を達成するための本発明の半導体装置は前記異種膜が前記被膜の構成元素の含有量と異なった膜であることを特徴とする。

また、上記目的を達成するための本発明の半導体装置は前記異種膜がイオウを添加しない前記被膜と同一の主成分膜であることを特徴とする。

また、上記目的を達成するための本発明の半導体装置は前記異種膜が珪素を主成分とする膜であることを特徴とする。

また、上記目的を達成するための本発明の半導体装置はIII-V族化合物半導体を有することを特徴とする。

また、上記目的を達成するための本発明の半導体装置は電界効果トランジスタ、バイポーラトランジスタ、ダイオードであることを特徴とする。

また、上記目的を達成するための本発明の半導体装置の製造方法は被成膜基板を窒素を含むプラズマ雰囲気中に配置し、前記被成膜基板にホウ素原子、炭素原子、イオウ原子を供給し、イオウが添加された窒化ホウ素炭素膜を形成することを特徴とする。

イオウの添加方法は、例えば、固体のイオウを昇温し（400K）窒素ガスでリアクターへ搬送すればよい。また、硫化水素（H₂S）で導入する方が制御性が向上するため好ましい。

イオウ原子の膜中への取り込み量は10の2乗/cm³程度です。10の18乗以上添加することにより効果が出てくるのではないかと考えています。

また、上記目的を達成するための本発明の半導体装置の製造方法は窒化ホウ素のスパッタ部に対向して被成膜基板を配置し、前記被成膜基板に炭素原子、イオウ原子を供給し、イオウが添加された窒化ホウ素炭素膜を形成することを特徴とする。

また、上記目的を達成するための本発明の半導体装置の製造方法は窒化ホウ素と炭素のスパッタ部に対向して被成膜基板を配置し、前記被成膜基板にイオウ原子を供給し、イオ

3

ウが添加された窒化ホウ素炭素膜を形成することを特徴とする。

また、上記目的を達成するための本発明の半導体装置の製造方法は窒化ホウ素のレーザアブレーションに対向して被成膜基板を配置し、前記被成膜基板に炭素原子およびイオウ原子を含むプラズマを供給し、イオウが添加された窒化ホウ素炭素膜を形成することを特徴とする。

また、上記目的を達成するための本発明の半導体装置の製造方法は窒化ホウ素と炭素のレーザアブレーションに対向して被成膜基板を配置し、前記被成膜基板にイオウ原子を含むプラズマを供給し、イオウが添加された窒化ホウ素炭素膜を形成することを特徴とする。

また、上記目的を達成するための本発明の通信システム装置は本発明により作製される半導体装置を有することを特徴とする。

図面の簡単な説明

第1図は、本発明の容量－電圧特性を示す図である。

第2図は、本発明の実施例1による半導体装置を示す断面図

第3図は、本発明の実施例2による半導体装置を示す断面図

(符号の説明)

21・・・半絶縁性GaAs基板

22・・・n型GaAs活性層

23・・・ソース電極

24・・・ドレイン電極

25・・・ゲート電極

26・・・表面保護膜

26-1・・・第一窒化ホウ素炭素膜

26-2・・・第二窒化ホウ素炭素膜

31・・・n-CaAs基板

32・・・n型GaAsコレクタ層

33・・・p型GaAsベース層

34・・・n型AlGaAsエミッタ層

35・・・n型GaAsコンタクト層

36・・・エミッタ電極

37・・・ベース電極

38・・・コレクタ電極

39・・・表面保護膜

39-0・・・半導体

39-1・・・第一窒化ホウ素炭素膜

39-2・・・第二窒化ホウ素炭素膜

4

発明を実施するための最良の形態

以下に本発明の実施例を図面を用いて詳しく説明する。

(実施例1)

図2は本発明の第1実施例の半導体装置として電界効果トランジスタ(FET)を示す概略側面図である。有機金属気相成長法(MOCVD)により半絶縁性GaAs基板21上にn型GaAs活性層22を成長したウェハを用いる。その上に、オーミック接合を形成し、ソース電極23とドレイン電極24を形成する。素子分離の後、ソース23-ドレイン24間のGaAs活性層22上に本発明の表面保護膜26を堆積させる。プラズマCVD装置を用い、試料温度を300℃にして表面を水素プラズマで処理した後、窒素とメタンのプラズマと三塩化ホウ素を用いて第一窒化ホウ素炭素膜26-1を100nm堆積させる。この際、プラズマ中へイオウ原子を供給する。引き続き、メタン濃度を増加させて第二窒化ホウ素炭素膜26-2を200nm堆積させる。この時にはイオウ原子の供給を停止する。フォトリソグラフィによりソース23-ドレイン24間にゲート電極25形成のための窓を開け、ショットキー接合を形成し、ゲート電極25を設ける。

このようにしてFETを作製することにより、ソース-ゲートおよびゲートドレイン間の表面保護して酸化珪素膜や窒化珪素膜のみを用いたものに比べて浮遊容量が2分の1以下に低減した。また、ドレイン電流の増加を実現できた。

本実施例においてはGaAsFETを用いたが、ヘテロFET、HEMTなどをはじめそれらと類似のFETに対しても使用することもできる。また、本実施例で用いたGaAsFETに制限されることなく、他のIII-V族化合物半導体で構成されるFETに対しても同様に用いられる。また、表面保護膜の構造についても本発明のイオウ添加窒化ホウ素炭素膜の上に形成する膜として窒化珪素膜や、酸化珪素膜を用いることができる。

(実施例2)

図3は本発明の第2実施例の半導体装置として、ヘテロバイポーラトランジスタ(HBT)を示す概略側面図である。有機金属気相成長法(MOCVD)によりn型GaAs基板31上にn型GaAsコレクタ層32を2μm、p型GaAsベース層33を2nm、n型AlGaAsNエミッタ層34を1μm、n型GaAsコンタクト層35を50nm成長させる。素子分離の後、エミッタ部を残してコンタクト層35およびエミッタ層34を除去し、ベース層33を露出させ、本発明の表面保護膜39を堆積させる。プラズマCVD装置内で試料温度を300℃にして表面を水素プラズマで処理した後、窒素とメタンのプラズマと三塩化ホウ素を用いて第一窒化ホウ素炭素膜39-1を100nm堆積させる。この際、プラズマ中にイオウ元素を供給して堆積を行った。引き続きその上にメタン濃度を増加させて第二窒化ホウ素炭素膜39-1を300nm堆積させる。この時にはイオウ原子の供給を停止した。フォトリソグラフィによりエミッタ電極36部の表面保護膜39をエッチングし、エミッタ電極36を形成する。同様にフォトリソグラフィにより

5

ベース電極37部の表面保護膜39をエッチングし、ベース電極37を形成する。最後に基抜31表面にコレクタ電極38を形成して完成する。

このようにしてHBTを作製することにより、ベース層33の表面保護として酸化珪素膜や窒化珪素膜のみを用いたものに比べエミッタ接地電流増幅率が50%以上増加した。

本実施例においては表面保護膜として第一、第二窒化ホウ素炭素膜を用いたが、本発明の第一窒化ホウ素炭素膜であるイオウ添加窒化ホウ素炭素膜の上に形成する膜として窒化珪素膜や、酸化珪素膜を用いることができる。また、本実施例で用いたGaAs/AlGaAs層構造を有するHBTに制限されることなく、他のIII-V族化合物半導体で構成されるHBTに対しても同様に用いられる。

発明の効果

本発明は半導体表面に低誘電率を有するイオウ添加窒化ホウ素炭素膜を作製することにより表面欠陥密度の低減を図る方法を提供するものであり、FETやHETをはじめとする半導体素子の作製に応用でき、高周波電子素子の高性能化に効果的である。

また、本発明の技術を用いて作製された半導体素子は高性能情報処理装置や通信システム装置等のキーデバイスとして提供できる。

6

請 求 の 範 囲

1. ホウ素、炭素、窒素を主成分とし、イオウが添加された被膜が表面保護膜として表面の少なくとも一部に被着されたことを特徴とする半導体装置。
2. 前記被膜の炭素組成比（原子比）が0.1以上であることを特徴とする請求項1に記載の半導体装置。
3. 前記被膜に酸素を含むことを特徴とする請求項1、2に記載の半導体装置。
4. 前記被膜に異種膜を付加した多層構造を有することを特徴とする請求項1から3に記載の半導体装置。
5. 前記異種膜が前記被膜の構成元素の含有量と異なった膜であることを特徴とする請求項1から4に記載の半導体装置。
6. 前記異種膜がイオウを添加しない前記被膜と同一の主成分膜であることを特徴とする請求項1から4に記載の半導体装置。
7. 前記異種膜が珪素を主成分とする膜であることを特徴とする請求項1から4に記載の半導体装置。
8. III-V族化合物半導体を有することを特徴とする請求項1から7に記載の半導体装置。
9. 前記半導体装置は電界効果トランジスタであることを特徴とする請求項1から8に記載の半導体装置。
10. 前記半導体装置はバイポーラトランジスタであることを特徴とする請求項1から9に記載の半導体装置。
11. 前記半導体装置はダイオードであることを特徴とする請求項1から8に記載の半導体装置。
12. 被成膜基板を窒素を含むプラズマ雰囲気中に配置し、前記被成膜基板にホウ素原子、炭素原子、イオウ原子を供給し、イオウが添加された窒化ホウ素炭素膜を形成することを特徴とする半導体装置の製造方法。
13. 窒化ホウ素のスパッタ部に対向して被成膜基板を配置し、前記被成膜基板に炭素原子、イオウ原子を供給し、イオウが添加された窒化ホウ素炭素膜を形成することを特徴とする半導体装置の製造方法。
14. 窒化ホウ素と炭素のスパッタ部に対向して被成膜基板を配置し、前記被成膜基板にイオウ原子を供給し、イオウが添加された窒化ホウ素炭素膜を形成することを特徴とする半導体装置の製造方法。
15. 窒化ホウ素のレーザアブレーションに対向して被成膜基板を配置し、前記被成膜基板に炭素原子およびイオウ原子を含むプラズマを供給し、イオウが添加された窒化ホウ素炭素膜を形成することを特徴とする半導体装置の製造方法。

16. 窒化ホウ素と炭素のレーザアブレーションに対向して被成膜基板を配置し、前記被成膜基板にイオウ原子を含むプラズマを供給し、イオウが添加された窒化ホウ素炭素膜を形成することを特徴とする半導体装置の製造方法。
17. 前記半導体装置は電界効果トランジスタであることを特徴とする請求項12から16のいずれか1項記載の半導体装置の製造方法。
18. 前記半導体装置はバイポーラトランジスタであることを特徴とする請求項12から16のいずれか1項記載の半導体装置の製造方法。
19. 前記半導体装置はダイオードであることを特徴とする請求項12から16のいずれか1項記載の半導体装置の製造方法。
20. 請求項1から11のいずれか1項に記載の半導体装置を有することを特徴とする通信システム装置。

8

要 約 書

表面保護および表面不活性化を実現できました、高周波特性の向上が可能となる成膜方法およびその技術を用いて作製した高性能半導体装置並びに半導体装置を含む通信システムの電子装置を提供することを目的とする。

ホウ素、炭素、窒素を主成分とし、イオウが添加された被膜が表面保護膜として表面の少なくとも一部に被着されたことを特徴とする半導体装置